



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 198 08 128 A 1**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 N 21/35**  
G 01 N 21/61

21 Aktenzeichen: 198 08 128.6  
22 Anmeldetag: 26. 2. 98  
43 Offenlegungstag: 27. 8. 98

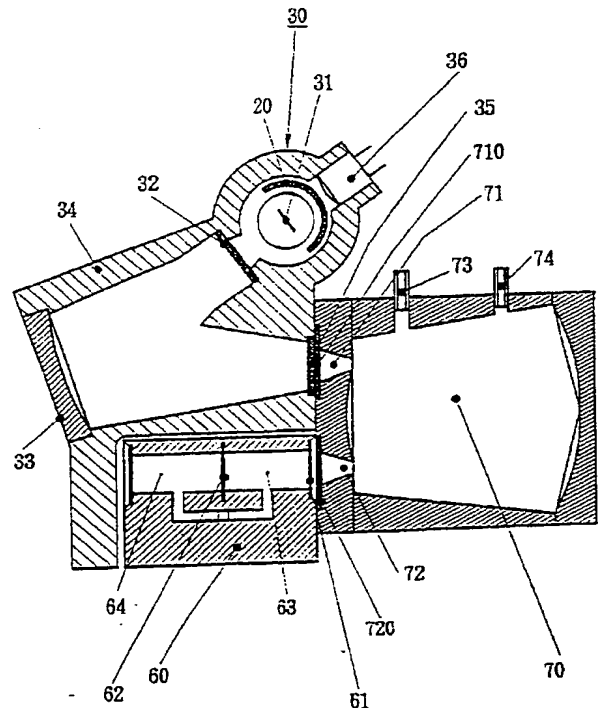
DE 198 08 128 A 1

30 Unionspriorität:  
42713/97 26. 02. 97 JP  
71 Anmelder:  
Fuji Electric Co., Ltd., Kawasaki, Kanagawa, JP  
74 Vertreter:  
Hoffmann, E., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 82166  
Gräfelfing

72 Erfinder:  
Hirayama, Noritomo, Kawasaki, JP; Sakaue,  
Satoru, Kawasaki, JP; Uno, Masahiro, Kawasaki,  
JP; Sekine, Miyuki, Kawasaki, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

54 Infrarot Gas-Analysator  
57 Ein IR-Gasanalysator umfaßt: eine IR-Strahlungsquelle (30), die IR-Strahlung emittiert, eine IR-Strahlungs-Unterbrechungseinrichtung (20) zum Zerhacken der emittierten IR-Strahlung, ein optisches Kondensensorsystem (33) zum Empfang des sich innerhalb eines vorbestimmten Raumwinkels ausbreitenden Teils der emittierten IR-Strahlung und zur Bündelung dieser Strahlung, eine an der Ausgangsseite des optischen Kondensensorsystems angeordnete Mehrfachreflexionszelle (70), in welche die gebündelte Strahlung eintritt und die mit einem Meßgas gespeist wird, wobei die Mehrfachreflexionszelle (70) ein eingebautes optisches Mehrfachreflexionssystem mit drei konkaven Spiegeln aufweist, und einen IR-Pegeldetektor (60), der an einem IR-Austrittsabschnitt der Mehrfachreflexionszelle (70) angeordnet ist, um den Anteil derjenigen IR-Strahlung zu erfassen, die in einem Wellenlängenband liegt, welches von einer zu analysierenden Gaskomponente in dem Meßgas enthalten ist. Wenigstens das optische Kondensensorsystem (33), die Mehrfachreflexionszelle (70) und der IR-Pegeldetektor (60) sind unter Verwendung der Position des optischen Kondensensorsystems, an der die gebündelte Strahlung abgegeben wird, als Referenz genau positioniert und an einer Kopplungsposition ohne eine von Luft durchströmte Schicht fest miteinander verbunden.



DE 198 08 128 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Infrarot-(IR)-Gasanalysator zur qualitativen oder quantitativen Analyse einer in einem Meßgas enthaltenen Gaskomponente durch Erfassung des Grads einer IR-Absorption.

Ein IR-Gasanalysator bestrahlt Meßgas mit Infrarotstrahlung, um die Menge der Infrarotstrahlung eines bestimmten Wellenlängenbereichs zu messen, der von einer in dem Meßgas enthaltenen, zu analysierenden Gaskomponente absorbiert wird, um so auf der Basis der Absorptionsmenge die Komponenten des Meßgases qualitativ oder quantitativ zu messen. Dieses Verfahren ist allgemein üblich, da es eine gute Selektivität bei hoher Meßempfindlichkeit bietet.

Fig. 10 ist eine Querschnittsansicht eines Einstrahl-IR-Gasanalysators, wie er aus der DE 44 32 940 A1 bekannt ist. Eine IR-Quelle 3 besitzt einen Emittor, etwa in Form eines Nichrom-Drahts, der mit elektrischem Strom gespeist und erhitzt wird, um Infrarotstrahlung zu emittieren. Die von der IR-Quelle 3 emittierte Infrarotstrahlung wird mittels eines von einem Motor 1 rotierend angetriebenen Zerkhackers 2 zu diskontinuierlichem Licht zerkhackt und tritt als Meßstrahl 4 auf eine Meßzelle 5. Die Meßzelle 5 ist nach Art eines Zylinders ausgebildet, der an seinen beiden Enden mit für IR-Strahlung durchlässigen Fenstern 51 und 52 versehen ist. Der Meßstrahl tritt durch das Fenster 51 ein und durch das Fenster 52 aus. Weiterhin ist die Meßzelle 5 mit einem Einlaßrohr 53 und einem Auslaßrohr 54 für den Zufluß bzw. Abfluß des Meßgases versehen. In der Meßzelle 5 wird der Meßstrahl 4 abhängig von der Konzentration einer zu analysierenden Gaskomponente, die in dem in die Meßzelle 5 eingeführten Meßgas enthalten ist, absorbiert. Nach Durchlaufen der Meßzelle 5 trifft der Meßstrahl 4 auf einen Detektor 6, der die IR-Strahlung in einem bestimmten Wellenlängenband mißt.

Der Detektor 6 weist eine erste und eine zweite Dehnungskammer 63 und 64 auf, die in Ausbreitungsrichtung des Meßstrahls 4 aufeinanderfolgen, wobei der Meßstrahl 4 nach Durchlaufen der Meßzelle 5 durch ein für IR-Strahlung durchlässiges Fenster 61 auf der ersten Dehnungskammer 63, bei der es sich um die vordere Kammer handelt, einfällt. Nach Durchlaufen der ersten Dehnungskammer 63 passiert der Meßstrahl 4 ein für IR-Strahlung durchlässiges Fenster 62 und gelangt in die zweite Dehnungskammer 64, bei der es sich um die hintere Kammer handelt. In beiden Dehnungskammern 63 und 64 ist ein Gas derselben Art wie das der zu analysierenden Gaskomponente abgedichtet eingeschlossen. Der größte Teil der Infrarotstrahlung mit einer Wellenlänge oder einem Wellenlängenbereich für die bzw. für den dieses Gas einen hohen Absorptionskoeffizienten aufweist, wird in der ersten Dehnungskammer 63 absorbiert, während Wellenlängen der IR-Strahlung, die in der ersten Dehnungskammer nicht absorbiert wurden, für die das fragile Gas also mittlere Absorptionskoeffizienten aufweist, hauptsächlich in der zweiten Dehnungskammer 64 absorbiert wird. Die Energie bzw. Temperatur des eingeschlossenen Gases steigt abhängig von der Menge absorbiert IR-Strahlung, was mit einem entsprechenden Druckanstieg in den Dehnungskammern 63 und 64 verbunden ist. Die durch den unterschiedlichen Absorptionsgrad in den beiden Dehnungskammern 63 und 64 bewirkte Druckdifferenz, die der Konzentration der zu analysierenden Gaskomponente in dem Meßgas entspricht, führt zu einer Gasströmung in einem die beiden Dehnungskammern 63 und 64 verbindenden Kanal 65. Durch Erfassen dieser Strömungsrate kann die Konzentration der zu analysierenden Gaskomponente in dem Meßgas bestimmt werden.

Fig. 11 zeigt zwei Heizelemente 66 und 67 zur Messung

der Gasströmungsrate. Fig. 11(a) ist eine Draufsicht auf die Heizelemente 66 und 67. Fig. 11(b) ist eine seitliche Querschnittsansicht längs der Linie A-A in Fig. 11(a). Fig. 11(c) ist ein Schaltbild einer Meßschaltung. Die Heizelemente 66 und 67 bestehen aus einem elektrischen Leiter, dessen Widerstand einen hohen Temperaturkoeffizienten aufweist (beispielsweise Nickel). In Fig. 11 sind in einer rechteckförmigen Nickelfolie von beiden Seiten her Einschnitte eingätzt, so daß ein zickzackförmiger Widerstand gebildet wird, wie in Fig. 11(a) gezeigt. Zwei solche Widerstände sind nebeneinander angeordnet und an ihren äußeren Rändern zu einem Stück miteinander verbunden, wie in Fig. 11(b) gezeigt. Die Abstände zwischen den Widerständen bilden eine Öffnung, durch die das Gas strömen kann. Diese Paar Heizelemente 66 und 67 ist in dem Kanal 65 in Längsrichtung relativ zur Gasströmung angeordnet.

Wie in Fig. 11(c) dargestellt, bilden die beiden Heizelemente 66 und 67 zusammen mit zwei festen Widerständen 68 und 69 eine Wheatstone'sche Brückenschaltung und werden durch den von einer an die Brückenschaltung angeschlossenen Stromquelle gelieferten Strom auf eine über der Umgebungstemperatur liegende Temperatur erwärmt. Infolge ihrer relativen Nähe beeinflussen die Heizelemente 66 und 67 einander.

Wenn keine Druckdifferenz zwischen der ersten und der zweiten Dehnungskammer 63 und 64 besteht, entsteht keine Gasströmung, so daß die Temperaturen der beiden Heizelemente mit der Umgebungstemperatur ausgeglichen sind. Wenn eine Druckdifferenz zwischen der ersten und der zweiten Dehnungskammer 63 und 64 vorhanden ist und Gas durch den Kanal 65 strömt, nimmt die Temperatur des Heizelements an der stromauf gelegenen Seite der Gasströmung aufgrund des direkten Kontakts mit der Gasströmung ab, während das stromab gelegene Heizelement von der von dem stromauf gelegenen Heizelement erwärmten Gasströmung kontaktiert wird und daher heißer wird als das stromauf gelegene Heizelement. Auf diese Weise ändern sich die Temperaturen der Heizelemente 66 und 67 abhängig von der Stärke der Gasströmung durch den Kanal 65 und damit abhängig von der Druckdifferenz zwischen den beiden Dehnungskammern 63 und 64. Diese Änderung wird als Ausgangssignal von der Brückenschaltung erfaßt. Da dieses Ausgangssignal proportional zur Konzentration der zu analysierenden Gaskomponente in dem Meßgas ist, kann diese Konzentration unter Verwendung des Ausgangssignals der Brückenschaltung gemessen werden.

Wenn ein IR-Gasanalysator mit dem in Fig. 10 gezeigten Aufbau dazu verwendet wird, eine in dem Meßgas enthaltene dünne Gaskomponente, d. h. eine solche geringer Konzentration, zu erfassen, dann wird nur ein verhältnismäßig geringer Anteil der IR-Strahlung absorbiert, so daß man kein ausreichendes Ausgangssignal erhält. Das erforderliche Ausgangssignal wurde in solchen Fällen dadurch erreicht, daß die Länge der Meßzelle 5 vergrößert wurde und/oder die Strahlungsintensität der IR-Strahlung von der IR-Quelle erhöht wurde. Diese Verfahren sind jedoch mit den nachstehend erläuterten Problemen behaftet.

1) Wenn die Länge der Meßzelle 5 vergrößert wird, erhöht sich der Rauminhalt der Meßzelle. Wenn der Rauminhalt zunimmt, steigt die Menge des Meßgases, die zur Analyse erforderlich ist, um zu verhindern, daß Spurenwerte von Gas analysiert werden. Ferner nimmt die Zeit zu, die erforderlich ist, um das Meßgas in der Meßzelle 5 auszutauschen, was die Reaktionszeit verlängert. Außerdem müssen die erforderlichen Kapazitäten einer Pumpenanordnung und eines Vorbehandlers zur Entfernung von Staub und Feuchtigkeit aus dem

Meßgas erhöht werden, was die physischen Größen und auch die Kosten für diese Anordnungen erhöht. Schließlich führt die erhöhte Größe solch einer Vorrichtung zu einer höheren thermischen Kapazität, was die zum Aufwärmen der Vorrichtung erforderliche Zeit erhöht. Zusätzlich zu diesen Problemen besteht ein noch schwereres Problem darin, daß falls der Gasanalysator in einer Umgebung eingesetzt wird, in der Petroleum verarbeitet wird oder petrochemische Vorgänge ablaufen, die einen explosionsgeschützten Aufbau erfordern, die Größe, das Gewicht und die Kosten der Anlage unvertretbare Größen erreichen. Da die bei dieser Art von IR-Gasanalysator eingesetzte IR-Quelle auch eine Wärmequelle ist, muß die IR-Quelle zumindest in einem unter Druck stehenden Behälter untergebracht werden, damit sie in einer explosionsgeschützten Umgebung wie der oben beschriebenen eingesetzt werden kann. Da jedoch die für den Auslaß der Infrarotstrahlung erforderlichen optisch transparenten Fenster eine niedrige Druckbeständigkeit aufweisen, muß der gesamte IR-Gasanalysator-Körper einschließlich der Meßzelle und dem IR-Detektor in einem unter Druck stehenden Behälter untergebracht werden, weshalb die Verringerung der Größe der einzelnen Komponenten wie der Meßzelle und des IR-Detektors für die Praxis große Bedeutung hat.

2) Eine Erhöhung der Strahlungsintensität der IR-Quelle erhöht den Wärmewert der IR-Quelle und damit die zur Stabilisierung von deren Temperatur erforderliche Zeit, was die für die Aufwämbetrieb benötigte Zeit erhöht.

3) Herkömmliche IR-Gasanalysatoren weisen im optischen Weg von der IR-Quelle zum IR-Detektor eine von der Umgebungsluft durchströmte Schicht oder Zone auf. Wenn eine Gaskomponente geringer Konzentration erfaßt werden soll und in der Umgebungsluft eine Gaskomponente mit Absorptionseigenschaften im selben Wellenlängenbereich wie die zu erfassende Gaskomponente vorhanden ist und deren Konzentration variiert, wird der Meßstrahl 4 nicht nur in der Meßzelle 5 absorbiert, vielmehr wird IR-Strahlung im Absorptionsband der zu analysierenden Gaskomponente auch in dem Teil des optischen Weges von der IR-Quelle zum IR-Detektor absorbiert, der sich durch die Außenluftschicht erstreckt. Damit nimmt die Meßempfindlichkeit ab und verschlechtert die Meßgenauigkeit, wodurch die Erfassung niedriger Konzentrationen erheblich erschwert wird. Ein Beispiel für dieses Problem ist das Vorhandensein von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Luft im Fall der Messung der Konzentration von Kohlenmonoxid (CO).

Eine auf White zurückgehende nachfolgend als "White-Zelle" bezeichnete Meßzelle mit Mehrfachreflexion ist zur Lösung des ersten der oben genannten Probleme eingesetzt worden. Diese Zelle hat einen Aufbau, wie er in Fig. 12 gezeigt ist. Bei diesem trifft ein gebündelter IR-Strahl auf ein optisches Mehrfachreflexionssystem, wo er sich zur Erzielung eines langen optischen Weges innerhalb eines kleinen Raums hin und her bewegt. Das Prinzip ist bekannt und in den nachstehenden Druckschriften beschrieben:

(1) J. U. White, J.Opt.Soc.Am., Band 32, Seite 285 (1942)

(2) J. U. White, N. L. Albert, A. D. DeBell, J.Opt.Soc.Am., Band 45, Seite 154 (1955)

(3) P. Hannah, Opt. Engineering, Band 28, Seite 1180(1989)

Der Aufbau der White-Zelle 7 soll unter Bezugnahme auf Fig. 12 im einzelnen beschrieben werden.

Bei einem Zentralspiegel 75, einem Eingangsspiegel 76 und einem Ausgangsspiegel 77 handelt es sich um konkave Spiegel mit demselben Krümmungsradius, die so angeordnet sind, daß der Abstand zwischen ihren einander zugewandten Reflexionsflächen gleich dem Krümmungsradius ist. Ein Eintrittsfenster 71, durch das ein Eintrittsstrahl 41 eintritt, ist neben dem Zentralspiegel 75 als Schlitz oder kleines Loch vorgesehen. Der Eingangsspiegel 76 ist dem Eintrittsfenster 71 gegenüberliegend angeordnet derart, daß er den Eintrittsstrahl 41 auf dem Zentralspiegel 75 abbildet. Der von dem Zentralspiegel 75 reflektierte Strahl wird vom Ausgangsspiegel 77, der neben dem Eingangsspiegel 76 angeordnet ist, reflektiert und erzeugt wiederum eine Abbildung auf dem Zentralspiegel 75. Diese Abbildung durch Reflexion wird eine erforderliche Anzahl von Malen wiederholt, bis der vom Ausgangsspiegel 77 reflektierte Strahl durch ein neben dem Zentralspiegel 75 auf der dem Eintrittsfenster 71 entgegengesetzten Seite gelegenes Austrittsfenster 72 austritt. Bei dem in die White-Zelle 7 eintretenden Eintrittsstrahl 41 handelt es sich um einen gebündelten Strahl, der es erlaubt, daß innerhalb der White-Zelle 7 mehrfach ein reflektiertes Bild erzeugt wird.

In Fig. 12 wird der Eintrittsstrahl 41 von dem Eingangsspiegel 76 und dem Ausgangsspiegel 77 jeweils viermal reflektiert und von dem Zentralspiegel 75 siebenmal reflektiert, und zwar in der alphabetischen Folge von a bis g und bewegt sich achtmal zwischen den konkaven Spiegeln hin und her, bevor er als Austrittsstrahl 42 austritt.

Da die White-Zelle den Rauminhalt der Meßzelle erheblich verringern kann, stellt sie eine wirksame Maßnahme zur Lösung des ersten Problems dar. Die White-Zelle dient aber nicht zur ausreichenden Verringerung der Größe herkömmlicher IR-Gasanalysatoren, bei denen es sich um eine einfache Kombination der IR-Quelle 3, der White-Zelle 7 als Meßzelle und des IR-Detektors handelt, und erfordert daher zwischen diesen Elementen eine relativ große Fläche. Der Grund dafür ist folgender. Optische Komponenten, die mehrere konkave Spiegel einschließen, werden in der White-Zelle 7 verwendet, und ein bündelndes optisches System in einer davor liegenden Stufe. Diese Komponenten müssen sehr genau angeordnet und ausgerichtet werden, damit die erforderliche Genauigkeit ihrer optischen Achsen erreicht wird. Aufgrund der thermischen Ausdehnung der Elemente, die von der Strahlungswärme der IR-Quelle 3 verursacht wird, ist es nicht einfach, diese Genauigkeit beizubehalten, was verhindert, daß eine bestimmte Lichtmenge oder eine erforderliche optische Weglänge erhalten werden. Folglich muß der IR-Gasanalysator so aufgebaut werden, daß das optische System justiert werden kann. Damit wird es schwierig, den IR-Gasanalysator einstückig auszubilden. Obwohl ein Beispiel der Integration von Meßzelle und IR-Detektor in einem Katalog von DASIBI gezeigt ist, gibt es keine IR-Gasanalysatoren, die bis hin zur Peripherie der IR-Quelle einstückig aufgebaut sind.

Im Hinblick auf das Problem 2) muß die IR-Quelle 3 zur Erzielung des erforderlichen Ausgangspegels eine bestimmte Lichtmenge liefern. Die Größe des IR-Gasanalysators muß also unter Erfüllung dieser Bedingung verringert werden. Die Größe der IR-Quelle wird zum Erhalt guter Ergebnisse, einschließlich eines erhöhten Nutzungsgrads günstigerweise möglichst klein gemacht, wozu jedoch die Temperatur des Emissionsabschnitts der IR-Quelle erhöht werden muß. Dann steigt aber auch die Strahlungswärme, die zu einer Temperaturerhöhung und thermischen Ausdehnung führt, was beides ernsthafte Probleme sind.

Lösungen des Problems 3d) sind folgende.

Eine Methode besteht darin, den gesamten IR-Gasanalysator so zu gestalten, daß der Raum im optischen Weg von der IR-Quelle 3 zum IR-Detektor 6, durch den Außenluft hindurchströmen kann, minimiert wird, während der grundsätzliche Aufbau des IR-Gasanalysators unverändert bleibt.

Die zweite Methode besteht darin, den gesamten IR-Gasanalysator in eine Gasatmosphäre einzuschließen, die Infrarotstrahlung nicht absorbiert, beispielsweise in Stickstoff.

Eine dritte Methode besteht darin, die wesentliche Länge der Meßzelle bis hin zu einem Wert zu vergrößern, bei dem Auswirkungen der Außenluftabschnitte vernachlässigbar sind.

Von diesen drei Methoden ist die erste unzureichend, führt die zweite zu einem komplizierten Aufbau und damit einer Vergrößerung infolge der Anordnung zum Einschluß des gesamten Analysators, und widerspricht die dritte Methode dem Ziel, die Größe der Vorrichtung zu verringern.

Eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, die oben genannten Probleme herkömmlicher IR-Gasanalysatoren zu beseitigen und einen kleinen IR-Gasanalysator zu schaffen, der Gaskomponenten geringer Konzentration erfassen und analysieren kann und der in einer explosionsgeschützten Umgebung eingesetzt werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen IR-Gasanalysator gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

Da die einzelnen Teile genau positioniert und so miteinander fest verbunden sind, daß keine Zwischenräume bestehen, die von Außenluft durchströmt werden können, kann der gesamte Analysator miniaturisiert und thermisch einstückig ausgebildet werden, um einen exakten optischen Weg für die IR-Strahlung zu schaffen und eine wirksame Funktion der Mehrfachreflexionszelle zu ermöglichen, so daß eine zu analysierende Gaskomponente geringer Konzentration erfaßt und analysiert werden kann. Somit wird ein kleiner IR-Gasanalysator geschaffen, mit dem Gasbestandteile geringer Konzentration erfaßt werden können und der in einer explosionsgeschützten Umgebung eingesetzt werden kann.

Gemäß der Weiterbildung nach Anspruch 2 berühren das optische Kondensensorsystem, bei dem es sich um die erste Stufe für die gebündelte IR-Strahlung handelt, und die IR-Detektoreinrichtung, bei der es sich um die letzte Stufe für die gebündelte IR-Strahlung handelt, einander, so daß eine gleichförmige Temperatur in dem gesamten Analysator aufrechterhalten wird und sich ein kleinerer und stabilerer IR-Gasanalysator ergibt.

Ein gemäß der Weiterbildung nach Anspruch 3 ausgestalteter Emittent besitzt eine sehr hohe Betriebstemperatur, was zu einer weiteren Miniaturisierung des Analysators beiträgt. Somit wird eine kleine Hochleistungs-IR-Quelle geschaffen.

Der hermetische Aufbau gemäß Weiterbildung nach Anspruch 4 erlaubt eine genaue Positionierung des Emitters. Somit kann der IR-Fluß genau an der Abbildungsposition gebündelt werden, was die Effizienz der White-Zelle verbessert.

Da bei der Weiterbildung gemäß Anspruch 5 die Richtung senkrecht zur Hauptemissionsfläche des IR-Strahlungsabschnitts relativ zur Einfallachse des optischen Kondensensorsystems geneigt ist, können zusätzlich zur IR-Strahlung von der Hauptstrahlungsfläche des IR-Strahlungsabschnitts solche von den Seiten genutzt werden, was die effektive IR-Strahlungsfläche erhöht.

Da bei der Weiterbildung gemäß Anspruch 6 die IR-Strahlungs-Unterbrechungseinrichtung so ausgebildet ist, daß sie um den IR-Strahlungsabschnitt rotiert, kann sie, verglichen mit herkömmlichen von einer Scheibe Gebrauch

machenden Unterbrechungseinrichtungen, deutlich verkleinert werden.

Die Weiterbildung gemäß Anspruch 7 erlaubt die Beseitigung des Einflusses einer störenden Gaskomponente mittels eines Gasfilters, ohne daß dieses Gasfilter als zusätzliche Komponente vorgesehen werden müßte.

Der bei der Weiterbildung gemäß Anspruch 8 vorgesehene Fotodetektor kann den Zustand der IR-Quelle und den der IR-Strahlungs-Unterbrechungseinrichtung feststellen. Gemäß der Weiterbildung nach Anspruch 9 wird der Drehzustand der IR-Strahlungs-Unterbrechungseinrichtung unter Verwendung der mittels des Fotodetektors erfaßten Frequenz festgestellt, mit der die IR-Strahlung zerhackt wird. Dies ermöglicht die Feststellung eines Fehlers in der Rotation der IR-Strahlungs-Unterbrechungseinrichtung, beispielsweise deren Stillstand.

Gemäß der Weiterbildung nach Anspruch 10 wird die von der IR-Quelle abgestrahlte Lichtmenge anhand des Ausgangssignals des Fotodetektors berechnet, um Änderungen der Eigenschaften der IR-Quelle zu erfassen und Änderungen der an die IR-Quelle und den IR-Detektor angelegten Spannungen auszugleichen, um die Empfindlichkeit des IR-Detektors einzustellen. Sowohl Änderungen der Eigenschaften der IR-Quelle, als auch Spannungsschwankungen werden kompensiert, wodurch die Stabilität der Empfindlichkeit der IR-Detektoreinrichtung deutlich verbessert wird.

Die Weiterbildung gemäß Anspruch 11 gewinnt ein genaues Referenzsignal, mit dem die Genauigkeit der von der Verarbeitungsschaltung für den IR-Detektor durchgeführten Verarbeitung deutlich verbessert werden kann.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** in einem schematischen Querschnitt den Aufbau eines ersten Ausführungsbeispiels eines IR-Gasanalysators gemäß der Erfindung,

**Fig. 2** eine Querschnittsansicht des Aufbaus eines Emittentabschnitts der IR-Quelle für das erste Ausführungsbeispiel,

**Fig. 3** den Aufbau eines rotierenden Zerhackers für das erste Ausführungsbeispiel, wobei (a) eine perspektivische Darstellung ist, die die relative Lage zwischen dem rotierenden Zerhacker und dem Emittentabschnitt zeigt, (b) eine perspektivische Ansicht lediglich des rotierenden Zerhackers ist, und (c) eine perspektivische Ansicht einer alternativen Ausführungsform des rotierenden Zerhackers ist,

**Fig. 4** die relative Lage zwischen der IR-Quelle und dem optischen Kondensensorsystem, die Richtung einer optischen Achse, eine Abbildungsposition und eine Abbildung an dieser Position bei dem ersten Ausführungsbeispiel, wobei (a) eine Querschnittsansicht ist, die zeigt, wie eine Abbildung erzeugt wird, und (b) ein an der Abbildungsposition erzeugtes Abbild zeigt,

**Fig. 5** schematisch im einzelnen den Aufbau und die Größe des Inneren einer White-Zelle gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel,

**Fig. 6** IR-Absorptionskennlinien verschiedener Gase,

**Fig. 7** in einem Zeitdiagramm die Menge von auf die White-Zelle auftreffender IR-Strahlung und das Ausgangssignal von einem Detektor gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel,

**Fig. 8** ein zweites Ausführungsbeispiel des IR-Gasanalysators gemäß der Erfindung, wobei (a) in einer Querschnittsansicht die relative Lage zwischen der IR-Quelle und dem optischen Kondensensorsystem, die Richtung der optischen Achse und die Abbildungsposition zeigt, und (b) eine Abbildung an der Abbildungsposition zeigt,

**Fig. 9** den Zusammenhang zwischen der Richtung der op-

tischen Achse und der Normalen auf die Hauptfläche eines Emittierelements gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel (Fig. 9(a)) bzw. dem zweiten Ausführungsbeispiel (Fig. 9(b)).

Fig. 10 eine Querschnittsansicht eines bekannten Einstrahl-IR-Gasanalytators.

Fig. 11(a) eine Querschnittsansicht der bei dem bekannten Gasanalytator verwendeten Heizelemente von oben.

Fig. 11(b) eine Querschnittsansicht der Heizelemente von der Seite.

Fig. 11 (c) eine Meßschaltung, und

Fig. 12 eine Querschnittsansicht einer White-Zelle und die Form der konkaven Spiegel.

Fig. 1 ist eine Querschnittsansicht, die den Aufbau eines ersten Ausführungsbeispiels eines IR-Gasanalytators gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt. Dabei handelt es sich um einen Einstrahl-IR-Gasanalytator. In einer IR-Strahlungsquelle oder einfach IR-Quelle 30 sind ein Emittierabschnitt 31 aus leitender Keramik und ein zylindrischer rotierender Zerhacker 20 an vorbestimmten Positionen eines Behälters 34 aus rostfreiem Stahl untergebracht. Der den Emittierabschnitt 31 umgebende und um ihn herum rotierende Zerhacker 20 ist mit einem Ausschnitt versehen, so daß bei seiner Rotation intermittierend Infrarotstrahlung durch diesen Ausschnitt austreten kann. Der Behälter 34 dient zugleich als Behälter für ein optisches Kondensorensystem zum Bündeln des von dem Emittierabschnitt 31 emittierten Strahlungsflusses. Ein für IR-Strahlung durchlässiges Fenster 32 aus einem Material wie Kalziumfluorid für den Durchlaß der IR-Strahlung vom Emittierabschnitt 31 und zur Aufrechterhaltung eines luftdichten Abschlusses des Inneren des Kondensorensystems ist mittels Klebstoffs an einem Strahlungseinfangabschnitt des Behälters 34, in welchem der Emittierabschnitt 31 untergebracht ist, angebracht. Eine Fotodiode 36 ist in dem den Emittierabschnitt 31 umgebenden Umfangsbereich des Behälters 34 dem Fenster 32 entgegengesetzt angeordnet und dient als Fotodetektor zur Erfassung der Lichtmenge des vom Emittierabschnitt 31 emittierten und durch den Zerhacker 20 zerhackten Lichts.

Ein konkaver Kondensorenspiegel 33 zur Bündelung der empfangenen IR-Strahlung ist mittels eines Klebstoffs dem Fenster 32 gegenüberliegend an dem Behälter 34 angebracht. Die IR-Strahlung wird mittels des Kondensorenspiegels 33 auf eine Position unter einem vorbestimmten Winkel relativ zur IR-Quelle gebündelt. An der dieser Bündelungsposition entsprechenden Stelle des Behälters 34 ist eine Öffnung für den Empfang der gebündelten Strahlung vorgesehen, und ein für die IR-Strahlung durchlässiges Fenster 35 ist mittels eines Klebstoffs an dieser Stelle angebracht, um den luftdichten Abschluß des Inneren des optischen Kondensorensystems aufrechtzuerhalten. Der Kondensorenspiegel 33 besteht aus Aluminium mit einer Ionenplattierungsschicht aus Gold auf seiner Reflexionsfläche zur Verbesserung der IR-Reflexion.

Ein IR-Eintrittsfenster (das Eintrittsfenster in Fig. 1) 71 einer White-Zelle 70 ist so angeordnet, daß es an dem Fenster 35 des Behälters 34 anliegt, um die IR-Strahlung in das Innere der White-Zelle 70 zu führen. An dem Eintrittsfenster 71 ist ein für IR-Strahlung durchlässiges Fenster 710 aus Kalziumfluorid mittels eines Klebstoffs angebracht, um das Eintrittsfenster 71 luftdicht abzuschließen. Die Fenster 35 und 710 sind in einer solchen Weise miteinander gekoppelt, daß die zwischen ihnen verbleibende Außenluftschicht ausreichend dünn ist. Ein Einlaßrohr 73 zur Zuleitung des Meßgases und ein Auslaßrohr 74 zur Ableitung des Meßgases sind an der White-Zelle 70 angebracht. Drei konkave Spiegel, die alle denselben Krümmungsradius aufweisen, sind in der White-Zelle 70 so angeordnet, daß über das Ein-

trittsfenster 71 eintretende IR-Strahlung mehrfach zwischen den drei Spiegeln reflektiert und dann durch ein Austrittsfenster 72 zur einem IR-Detektor 60 emittiert wird. An dem Austrittsfenster 72 ist ein für die IR-Strahlung durchlässiges Fenster 720 angebracht, um das Austrittsfenster 72 luftdicht abzuschließen. Die White-Zelle 70 setzt sich aus einem Aluminiumteil mit dem Eintrittsfenster 71 und dem Austrittsfenster 72 sowie einem der konkaven Spiegel, einem Rohrtteil aus rostfreiem Stahl, das das Zuleitungsrohr 73 und das Ableitungsrohr 74 enthält, und einem Aluminiumteil mit den anderen beiden konkaven Spiegeln zusammen. Die White-Zelle ist mittels nicht gezeigter Stifte positioniert und mittels Schrauben mit dem Analysator vereinigt. Eine Ionenplattierungsschicht aus Gold ist auf der Oberfläche jedes der drei konkaven Spiegel im gleicher Weise wie bei dem Kondensorenspiegel 33 ausgebildet. Der Rohrabschnitt wird unter Verwendung eines Wachsmustergießverfahrens (Wachsausschmelzgießverfahren) hergestellt.

Ein für IR-Strahlung durchlässiges Fenster 61 des IR-Detektors 60 ist so angeordnet, daß es an das Austrittsfenster 72 der White-Zelle 70 anstößt und durch das Fenster 71 die IR-Strahlung in den IR-Detektor 60 einfällt. Der IR-Detektor 60 gibt ein Signal entsprechend der Menge an in der White-Zelle 70 absorbiertes IR-Strahlung aus, d. h. ein der Konzentration der zu analysierenden Gaskomponente entsprechendes Ausgangssignal. Das Fenster 720 der White-Zelle 70 und das Fenster 61 des IR-Detektors 60 sind so miteinander gekoppelt, daß eine zwischen ihnen verbleibende Außenluftschicht ausreichend dünn ist.

Der Behälter 34 und die White-Zelle 70 sind ebenso wie die letztere und der IR-Detektor 60 mittels Schrauben miteinander verbunden. Außerdem ist der IR-Detektor 60 so angeordnet, daß er unter den Behälter 34 des Kondensorensystems paßt. Obwohl zwischen den IR-Detektor 60 und dem Behälter 34 in Fig. 1 ein Spalt gezeigt ist, stoßen diese Teile tatsächlich aneinander. Somit ist der gesamte IR-Gasanalytator kompakt ausgebildet und thermisch integriert, so daß eine gleichförmige Temperatur aufrechterhalten werden kann.

Nachdem der Gesamtaufbau voranstehend umrissen wurde, sollen seine einzelnen Komponenten nachfolgend im einzelnen beschrieben werden.

Zunächst wird der Emittierabschnitt 31 der IR-Quelle 30 beschrieben. Fig. 2 ist eine Querschnittsansicht, die den Aufbau des Emittierabschnitts 31 zeigt. Er umfaßt ein sehr kleines Keramikemittierelement 311 aus 2-Molybdendisilizid oder einem Verbundmaterial aus 2-Molybdendisilizid und Siliziumkarbid oder Molybdenborid. Die Größe des lichtemittierenden Zickzackabschnitts beträgt beispielsweise 5x3 mm. Das Emittierelement 311 kann bis auf 1200 bis 1500°C erhitzt werden, während bei herkömmlichen IR-Quellen nur Temperaturen von 700 bis 800°C erreichbar sind. Hierdurch wird die Dichte der emittierten IR-Strahlung deutlich erhöht, so daß die Größe des Analysators verringert werden kann. Da ferner das Emittierelement 311 beispielsweise durch elektrische Entladungsbearbeitung eines Blattmaterials hergestellt werden kann, kann der Analysator im Hinblick auf die maschinelle Bearbeitungstechnologie miniaturisiert werden.

Breite gradlinige Zuleitungsabschnitte 312a und 312b des Emittierelements 311 sind durch ein Metallelement 313 aus Covar geführt und mittels eines Pulver-Glas-Formmaterials, das druckgeformt wurde und bei Erhitzung zu einem Abdichtmaterial 314 wird, abgedichtet. Die in dieser Weise zusammensetzenden Teile werden genau positioniert und in einer Lehre angeordnet, um dann erhitzt zu werden und eine hermetisch abgedichtete Durchführung der Zuleitungen durch das Metallelement 313 zu ergeben. Somit kann die

Emittiereinheit des Emittierabschnitts **31** relativ zu dem optischen Kondensorsystem genau positioniert und bei Bedarf luftdicht abgeschlossen werden.

Wenn die Größe des Zickzackabschnitts des Emittierelements **311**  $5 \times 3$  mm beträgt, hat das Emittierelement **311** eine Leistung von 10 Watt.

Als nächstes wird unter Bezugnahme auf **Fig. 3** die IR-Strahlungs-Unterbrechungseinrichtung beschrieben. **Fig. 3(a)** ist eine perspektivische Darstellung des gesamten Aufbaus, während die **Fig. 3(b)** und **(c)** perspektivische Ansichten zweier verschiedener Beispiele des rotierenden Zerhackers sind. Der Zerhacker **20** besteht aus rostfreiem Stahl und in dem einen Fall aus einem Halbzylinder, dessen eine Stirnseite an einer Scheibe befestigt ist, deren Mitte mit der Achse eines Antriebsmotors **1** verbunden ist. Da sich dieser Halbzylinder um den Emittierabschnitt **31** dreht, handelt es sich bei der zu dem optischen Kondensorsystem emittierten IR-Strahlung um diskontinuierliches Licht mit einer der Drehzahl des Antriebsmotors **1** entsprechenden Folgefrequenz. Bei der Alternative **(c)** in **Fig. 3** setzt sich der Zerhacker aus zwei Viertelzylindern zusammen, die einander diametral gegenüberliegend an der von dem Antriebsmotor **1** gedrehten Scheibe in der dargestellten Weise befestigt sind. In diesem Fall handelt es sich bei der emittierten IR-Strahlung um diskontinuierliches Licht mit einer Folgefrequenz, die das Doppelte der Drehzahl des Antriebsmotors **1** beträgt. Der Zerhacker **20** oder **21** des jeweils beschriebenen Aufbaus hat einen sehr viel geringeren Raumbedarf als der herkömmliche in Form einer rotierenden Scheibe ausgebildete Zerhacker **2**.

Als nächstes soll der Zweck der Fotodiode **36** beschrieben werden.

Die Fotodiode **36** wirkt als Fotodetektor zur Erfassung der Lichtmenge des von dem Emittierabschnitt **31** emittierten und dem rotierenden Zerhacker **20** zerhackten Lichts und erfaßt Änderungen der von dem Emittierelement **311** emittierten Lichtmenge auf der Basis ihres Ausgangspegels zur Überwachung, ob sich das Emittierelement verschlechtert hat oder nicht, und zur Ausgabe eines Signals zur Justierung des Ausgangssignals von der IR-Detektoreinrichtung. Die Fotodiode **36** kann außerdem die Drehstabilität oder den Stillstand des Motors **1** auf der Basis der Frequenz des erfaßten Signals überwachen, um ein Referenzsignal für eine Verarbeitungsschaltung der IR-Detektoreinrichtung zu liefern.

Da auf der Basis des Ausgangssignals von der Fotodiode überwacht werden kann, ob das Emittierelement **311** oder der Motor **1** nachgelassen haben, können ihre Austauschzeiten geeignet festgelegt werden. Außerdem kann eine festgestellte Änderung der von dem Emittierelement **311** emittierten Lichtmenge durch Änderung der Spannungen kompensiert werden, die an die IR-Quelle bzw. die IR-Detektoreinrichtung angelegt werden, um die Empfindlichkeit der IR-Detektoreinrichtung einzustellen und dadurch Auswirkungen dieser Änderung deutlich zu reduzieren. Die Fotodiode kann außerdem ein Referenzsignal für eine Verarbeitungsschaltung liefern, um den Synchronismus einzustellen und eine Signalkomponente aus einer Ausgangswellenform mit schlechtem Rauschabstand in einem kleinen Ausgangssignal zu extrahieren.

Wie voranstehend beschrieben, eignet sich die Fotodiode **36** zur Verbesserung der Genauigkeit des IR-Gasanalyzers und zur Verbesserung seiner Zuverlässigkeit.

Unter Bezugnahme auf **Fig. 4** soll als nächstes das optische Kondensorsystem beschrieben werden. **Fig. 4(a)** ist eine Querschnittsansicht, in der die optischen Achsen in dem Behälter **34** in **Fig. 1** eingezeichnet sind. **Fig. 4(b)** zeigt die Form einer Abbildung, die von dem Kondensorsystem

erzeugt wird. Nach Durchlauf durch das Fenster **32** tritt ein Teil der von dem Emittierabschnitt **31** emittierten IR-Strahlung längs einer optischen Achse **411** auf dem Kondensorspiegel **33** auf, der, wie schon ausgeführt, dem Fenster **32** gegenüberliegend an dem Behälter **34** befestigt ist. Diese IR-Strahlung wird längs einer optischen Achse **412**, die unter einem vorbestimmten Winkel relativ zur optischen Achse **411** geneigt ist, reflektiert und gebündelt. Die Strahlung durchläuft dann das Fenster **35**, das an dem Behälter **34** angebracht ist und wird auf eine Abbildungsposition **413** gebündelt oder fokussiert, um eine Abbildung des zickzackförmigen Emittierabschnitts **31** zu erzeugen, wie in **Fig. 4(b)** gezeigt.

Bei dem Kondensorspiegel **33** handelt es sich um einen sphärischen Spiegel, beispielsweise mit einem Krümmungsradius von 50 mm und einer Apertur von 20 mm, wobei die Länge der optischen Achse **411** zwischen dem Emittierabschnitt **31** und dem Kondensorspiegel **33** 50 mm betragen und der Kondensorspiegel **33** um beispielsweise  $15^\circ$  gegenüber der optischen Achse **411** geneigt ist. Die Abbildungsposition **413** ist auf der optischen Achse **412** 50 mm von dem Kondensorspiegel **33** entfernt.

Die Abbildungsposition **413** ist so ausgelegt, daß sie mit einer Position der Abbildung an der Eintrittsseite der White-Zelle **70** ausgerichtet ist, wie nachfolgend beschrieben.

Die oben angegebenen numerischen Werte stellen lediglich ein Beispiel dar, und die Größe, Anordnung und Art des Kondensorspiegels wie die Neigung, der Krümmungsradius und die Apertur sowie die Form seiner gekrümmten Fläche (die auch ein Ellipsoid sein kann des konkaven Kondensorspiegels **33** können variieren und beliebig kombiniert werden.

Da dieses optische Kondensorsystem durch die Fenster **32** und **35** an den beiden Öffnungen des Behälters **34** in luftdichter Weise abgeschlossen ist, kann es auch als Gasfilter verwendet werden, indem darin ein Gas eingeschlossen wird, das die Erfassung des zu analysierenden Komponentengases beeinträchtigt. Wenn der Analysator zum Beispiel Kohlenmonoxid messen soll, wird Kohlendioxid für das Gasfilter verwendet. Die Wirkung des Gasfilters besteht darin, Wirkungen einer störenden Komponente wesentlich zu reduzieren und dadurch die Konzentration der zu analysierenden Gaskomponente genauer zu bestimmen.

Als nächstes sollen das Prinzip und der Aufbau der White-Zelle **70** unter Bezugnahme auf **Fig. 5** beschrieben werden. Sie entspricht im wesentlichen derjenigen in **Fig. 12**. Drei konkave Spiegel mit demselben Krümmungsradius, nämlich ein Eingangsspiegel **76**, der dem Eintrittsfenster **71** gegenüberliegt, ein Ausgangsspiegel **77**, der dem Austrittsfenster **72** gegenüberliegt und ein Zentralspiegel **75**, der diesen beiden Spiegeln zwischen dem Eintrittsfenster und dem Austrittsfenster gegenüberliegt, sind in der Zelle angeordnet. Der Abstand zwischen einem Eintrittsbild **414**, das an der Abbildungsposition **413** des Eintrittsfensters **71** erzeugt wird, und im Eingangsspiegel **76**, der Abstand zwischen dem Austrittsbild **415** am Austrittsfenster **72** und dem Ausgangsspiegel **77**, der Abstand zwischen dem Eingangsspiegel **76** und dem Zentralspiegel **75** sowie der Abstand zwischen dem Ausgangsspiegel **77** und dem Zentralspiegel **75** sind gleich dem Krümmungsradius der drei Spiegel gewählt. Somit wird das Eintrittsbild **414** von dem Eingangsspiegel **76** auf dem Zentralspiegel **75** abgebildet, von diesem reflektiert und von dem Ausgangsspiegel **77** erneut auf dem Zentralspiegel **75** erzeugt. Mehrfache Reflexionen können erreicht werden, indem die drei Spiegel in einer solchen Weise angeordnet werden, daß das Austrittsbild **415** auf dem Austrittsfenster **72** erzeugt wird, nachdem ein Satz aus zwei Reflexions- und Abbildungsschritten eine erforderliche

che Anzahl von Malen wiederholt wurde.

Bezeichnet man die Anzahl von Reflexionen innerhalb der White-Zelle 70 mit  $n-1$ , den Krümmungsradius der drei konkaven Spiegel mit  $R$ , den Abstand zwischen der Mitte des Eintrittsfensters 71 und der Mitte des Zentralspiegels 75 sowie den Abstand zwischen der Mitte des Austrittsfensters 72 und der Mitte des Zentralspiegels 75 jeweils mit  $h$ , den Abstand zwischen der Mitte der Krümmung des Eingangsspiegels 76 und der Mitte der Krümmung des Ausgangsspiegels 77 mit  $d$ , und eine erforderliche optische Weglänge mit  $L$ , dann ergibt sich zwischen diesen Werten der folgende Zusammenhang:

$$R \cong L/n$$

$$h = nd/4$$

$n/2-1$  Eintrittsbilder 414 vom Eintrittsfenster 71 erscheinen auf dem Zentralspiegel 75 im Abstand  $d$  voneinander, und die optische Weglänge innerhalb der White-Zelle 70 ist viermal so groß wie der Krümmungsradius der konkaven Spiegel.

Ein Dimensionierungsbeispiel für die White-Zelle ist wie folgt. Falls  $L = 500$  mm und die Anzahl Reflexionen 11 beträgt, ist der Abstand zwischen den konkaven Spiegel etwa 42 mm, was etwa ein Zehntel des entsprechenden Abstands in herkömmlichen Zellen ist.

Die Montage der Teile der White-Zelle 70 und ihre Befestigung an dem Behälter 34 werden mittels genauer Positionierung unter Verwendung von parallelen Stiften und Einbaßoperationen ausgeführt.

Der IR-Detektor 60 (der Detektor in Fig. 1) zur Erfassung der Konzentration einer zu analysierenden Gaskomponente aus der IR-Strahlung, welche die erforderliche optische Weglänge innerhalb der White-Zelle 70 zurückgelegt hat, besitzt einen Aufbau ähnlich dem des herkömmlichen Detektors 6, wobei jedoch die erste und die zweite Dehnungskammer 63 und 64 verglichen mit dem Stand der Technik deutlich verkleinert werden können, da sie in ihrer Größe lediglich so bemessen zu werden brauchen, daß sie die aus White-Zelle 70 austretende IR-Strahlung aufnehmen können. Bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel war es möglich, die Fläche des Fensters 61, das die IR-Strahlung einfängt, auf ein Viertel derjenigen des Standes der Technik zu verringern. Die Dicke der Heizelemente 66 und 67 wurde gegenüber dem herkömmlichen Wert von  $4 \mu\text{m}$  bei Stand der Technik auf  $1 \mu\text{m}$  reduziert, um die Wärmekapazität zu verringern unter Verbesserung der Wärmeisolation des Montageabschnitts der Heizelemente 66 und 67. Die Empfindlichkeit des Detektors 60 wurde verglichen mit der des herkömmlichen Detektors 6 auf das Fünffache erhöht.

Der oben beschriebene IR-Gasanalysator dieses Ausführungsbeispiels hat eine Größe von  $64 \times 118 \times 117$  mm bis  $64 \times 118 \times 152$  mm, so daß sein Volumen lediglich ein Zehntel oder weniger desjenigen beim Stand der Technik beträgt.

Als nächstes sollen Aufbau und Betrieb eines Einstrahl-IR-Gasanalysators zur Erfassung und Analyse von Kohlenmonoxid als Beispiel beschrieben werden.

Von der IR-Quelle 30 emittierte IR-Strahlung wird mittels des um den Emitterabschnitt 31 rotierenden Zerhackers 20 in Lichtimpulse einer bestimmten Folgefrequenz zerhackt. Ein Teil der Strahlung dieser Lichtimpulse trifft auf das optische Kondensorsystem mit dem konkaven Kondensorspiegel 33 und wird zur Erzeugung eines Eintrittsbildes 414 an der Abbildungsposition 413 gebündelt. Kohlendioxid ist in dem Behälter 34 des optischen Kondensorsystems als Filtergas eingeschlossen.

Fig. 6 zeigt den Durchlaßfaktor für IR-Strahlung für Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) über der Wellen-

länge. Die Ordinate zeigt den Durchlaßfaktor und, wenn längs der Ordinate von oben nach unten gelesen wird mit 100% als Referenzpunkt, zugleich den Absorptionsfaktor für die IR-Strahlung. Wie sich aus der Figur ergibt liegen die Absorptionswellenlängenbereich von CO und CO<sub>2</sub> nahe beieinander und überlappen sich sogar. CO<sub>2</sub> absorbiert mehr IR-Strahlung als CO. Da CO<sub>2</sub> in der Luft vorhanden ist, übt es großen Einfluß auf die IR-Strahlung aus, weshalb ein Gasfilter verwendet werden muß, um aus der IR-Strahlung von CO<sub>2</sub> absorbierten Wellenlängenbereich zu entfernen, damit CO in geringer Konzentration festgestellt werden kann. Deshalb ist CO<sub>2</sub> in dem optischen Kondensorsystem als Filtergas eingeschlossen.

Die IR-Strahlung, aus der der von CO<sub>2</sub> absorbierte Wellenlängenbereich entfernt wurde, tritt in die White-Zelle 70 ein und durchläuft unter mehrfacher Reflexion die erforderliche optische Weglänge, um dann in den IR-Detektor 60 einzutreten. Von der am IR-Detektor 60 ankommenden IR-Strahlung hat die zu analysierende Gaskomponente, in diesem Fall CO, in dem in die White-Zelle 70 eingeleiteten Meßgas einen bestimmten Teil des Wellenlängenbereichs, der von der Konzentration der zu analysierenden Gaskomponente abhängt, absorbiert. Der IR-Detektor 60, der mit CO gefüllt ist, kann den verbliebenen Anteil von IR-Strahlung in diesem bestimmten Wellenlängenbereich ermitteln.

Fig. 7 zeigt das mittels des IR-Detektors 60 mit darin eingeschlossenem CO gewonnene Ausgangssignal und die mittels der Fotodiode 36 gemessene Einfalllichtmenge. Fig. 7(a) ist ein Diagramm, das die Einfalllichtmenge zeigt, während Fig. 7(b) ein Diagramm ist, das das Ausgangssignal des Detektors für die beiden Fälle der Zufuhr von CO bzw. Stickstoff N<sub>2</sub> zur White-Zelle 70 zeigt. Wenn Stickstoff zugeführt wird, wird die IR-Strahlung des bestimmten Wellenlängenbereichs in der White-Zelle 70 nicht absorbiert, und es ergibt sich ein Signal mit großer Amplitude und gleicher Frequenz wie das zerhackte IR-Licht von der IR-Quelle. Wenn andererseits CO zugeführt wird, wird in der White-Zelle 70 IR-Strahlung des bestimmten Wellenlängenbereichs von  $4,5$  bis  $4,9 \mu\text{m}$  absorbiert, so daß sich ein Ausgangssignal gleicher Frequenz aber kleinerer Amplitude einstellt.

Die Differenz zwischen diesen beiden Ausgangssignalen entspricht dem Anteil an IR-Strahlung, der von dem CO in der White-Zelle 70 absorbiert wird. Das nachstehend angegebene Lambert-Beer'sche Gesetz ist in Verbindung mit der Absorption von IR-Strahlung allgemein bekannt. Das heißt, wenn man die Intensität einfallender IR-Strahlung mit  $I_0$  bezeichnet, die Intensität abgehender IR-Strahlung mit  $I$  bezeichnet, den für ein jeweiliges Gas spezifischen Absorptionskoeffizienten mit  $\mu$ , die Konzentration des Gases mit  $c$  und die optische Weglänge mit  $L$  bezeichnet, dann gilt:

$$I = I_0 \exp(-\mu c L)$$

In dieser Beziehung stellen  $I_0$ ,  $\mu$  und  $L$  bekannte Werte bei den IR-Gasanalysator dieses Ausführungsbeispiels dar, so daß die Gaskonzentration  $c$  dadurch bestimmt werden kann, daß unter Verwendung des IR-Detektors 60 die Intensität  $I$  der abgehenden IR-Strahlung gemessen wird.

Obwohl es gewöhnlich schwierig ist, die erforderliche Empfindlichkeit zur Erreichen, und zwar wegen einer Abnahme des Nutzungsgrads der IR-Strahlung, wenn das optische Kondensorsystem verwendet wird, macht dieses Ausführungsbeispiel von einem Emittierelement 311 der IR-Quelle 30 in Form eines Keramikemitters, etwa Molybdensilizid, Gebrauch, das bei sehr viel höheren Temperaturen als bekannte Lichtquellen benutzt werden kann. Dies ermöglicht es, die Dicke der Heizelemente 66 und 67 im IR-Detektor 60 zu verringern und die Empfindlichkeit des De-



tektors zu erhöhen, wodurch eine Leistungsfähigkeit erreicht wird, die gleich oder besser als die herkömmlicher IR-Gasanalysatoren ist.

Auf diese Weise wird das oben mit 1) bezeichnete Problem dadurch gelöst, daß das Volumen des Analysators auf einen Bruchteil des beim Stand der Technik erforderlichen reduziert wird. Die Probleme 2) und 3) werden dadurch gelöst, daß der Analysator insgesamt miniaturisiert und so aufgebaut wird, daß Luftschichten in der Verbindung zwischen Komponenten beseitigt werden, optische Komponenten wie etwa konkave Spiegel am Behälter angebracht werden und jeder Behälter thermisch einstückig und fest montiert wird, damit eine gleichförmige Temperatur über den gesamten Analysator erreicht wird, um zu verhindern, daß die optische Achse infolge thermischer Ausdehnung versetzt wird.

Obwohl bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel das besondere Gas in dem optischen Kondensensorsystem zur gleichzeitigen Funktion als Gasfilter eingeschlossen wird, ist diese Funktion nicht erforderlich, wenn ein Gas hoher Konzentration analysiert wird oder nur ein geringer Anteil einer höheren Gaskomponente vorhanden ist.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 8 und 9 soll noch ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben werden.

Beim ersten Ausführungsbeispiel (entsprechend Fig. 9(a)) ist die Richtung der Normalen auf die Hauptfläche des Emitterelements **311** mit der optischen Achse **411** ausgerichtet, und die Zickzackform des Emittierabschnitts, wie sie etwa in Fig. 4(b) gezeigt ist, erscheint direkt an der Abbildungsposition **413**. Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel (entsprechend Fig. 9(b)) ist dagegen die Normale auf die Hauptfläche des Emitterelements **311** gegenüber der optischen Achse **411** geneigt, und ein Bild einer Oberflächenlichtquelle, das den äußeren Umfang des Emittierabschnitts angibt, wie in Fig. 8(b) gezeigt, erscheint an der Abbildungsposition **413**, wobei das tatsächliche Bild etwas größer als die in Fig. 4(b) eingeschlossene Fläche ist. Dies liegt daran, daß die optische Achse **411** gegenüber der Normalen auf die Hauptfläche geneigt ist, wodurch die Seite des Emitterelements **311** in Dickenrichtung freigelegt wird, während die Spalte zwischen den Zickzackteilen des Emitters verdeckt wird. Indem die Richtung des Emittierabschnitts gegenüber der optischen Achse **411** in dieser Weise geneigt wird, kann dasselbe Emittierelement **311** zur Erzielung einer größeren Menge IR-Strahlung verwendet werden.

Wie in Fig. 9(a) gezeigt, wird, wenn man den Spalt zwischen benachbarten Emittierteilen mit  $a$  und die Dicke des Emitters mit  $b$  bezeichnet, die Spalte zwischen den Emitterteilen verdeckt, wenn der Winkel  $\theta$  der optischen Achse **411** gegenüber der Hauptfläche des Emitterelements **311** die Bedingung erfüllt:  $\tan \theta \leq (b/a)$ . Die exponierte Fläche des Emitters ist maximal, wenn die optische Achse **411** senkrecht zur Diagonallinie der einzelnen Querschnittsabchnitte des Emitterelements **311** liegt. Dadurch, daß  $\theta$  auf den Wert des obigen Winkels eingestellt wird, d. h.  $a$  gegenüber  $b$  eingestellt wird, kann der Emittier am effektivsten benutzt werden.

Zur effektiven Nutzung dieses Ausführungsbeispiels muß der Emittier eine bestimmte Dicke aufweisen und die projizierte Fläche des geneigten Emitters muß größer als die von vorn gesehene Fläche sein, wobei der im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel beschriebene Keramikemittier aus Molybdensilizid für die Realisierung dieses zweiten Ausführungsbeispiels optimal ist.

eine IR-Strahlungsquelle (**30**), die IR-Strahlung emittiert,

eine IR-Strahlungs-Unterbrechungseinrichtung (**20; 21**) zum Zerhacken der emittierten IR-Strahlung, ein optisches Kondensensorsystem (**33**) zum Empfang des sich innerhalb eines vorbestimmten Raumwinkels ausbreitenden Teils der emittierten IR-Strahlung und zur Bündelung dieser Strahlung,

eine an der Ausgangsseite des optischen Kondensensorsystems angeordnete Mehrfachreflexionszelle (**70**), in welche die gebündelte Strahlung eintritt und die mit einem Meßgas gespeist wird, wobei die Mehrfachreflexionszelle (**70**) ein eingebautes optisches Mehrfachreflexionssystem mit drei konkaven Spiegeln (**75, 76, 77**) aufweist, und

einen IR-Pegeldetektor (**60**), der an einem IR-Austrittsabschnitt der Mehrfachreflexionszelle (**70**) angeordnet ist, um den Anteil derjenigen IR-Strahlung zu erfassen, die in einem Wellenlängenband liegt, welches von einer zu analysierenden Gaskomponente in dem Meßgas enthalten ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß wenigstens das optische Kondensensorsystem (**33**), die Mehrfachreflexionszelle (**70**) und der IR-Pegeldetektor (**60**) unter Verwendung der Position des optischen Kondensensorsystems, an der die gebündelte Strahlung abgegeben wird, als Referenz genau positioniert und an einer Kopplungsposition ohne eine von Luft durchströmte Schicht fest miteinander verbunden sind.

2. IR-Gasanalysator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das optische Kondensensorsystem (**33**) und der IR-Pegeldetektor (**60**) einander zur Aufrechterhaltung einer gleichförmigen Temperatur kontaktieren.

3. IR-Gasanalysator nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß er als IR-Strahlungsabschnitt der IR-Quelle (**30**) einen Emittier (**311**) umfassend Molybdensilizid oder eine Verbundkeramik, die Molybdensilizid enthält, aufweist.

4. IR-Gasanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der IR-Strahlungsabschnitt der IR-Quelle (**30**) einen hermetisch abgedichteten Aufbau aufweist.

5. IR-Gasanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der IR-Strahlungsabschnitt der IR-Quelle (**30**) durch Falten eines Bandes mit einem rechteckförmigen Querschnitt in der Weise, daß die Dicke des Bandes und der Abstand zwischen den gefalteten Teilen des Bandes nahezu gleich ist, geformt ist, und daß die Richtung senkrecht zur einer Hauptemissionsfläche des IR-Strahlungsabschnitts gegenüber der Eintrittsachse des optischen Kondensensorsystems (**33**) geneigt ist.

6. IR-Gasanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die IR-Strahlungs-Unterbrechungseinrichtung (**20, 21**) in der Weise geformt ist, daß ein Teil eines Zylinders abgeschnitten und eine Welle in der Mitte eines Endes des Zylinders in der Weise montiert wird, daß die Welle gedreht werden kann, und daß die IR-Strahlungs-Unterbrechungseinrichtung den IR-Strahlungsabschnitt der IR-Quelle (**30**) in der Weise bedeckt, daß er sich um den IR-Strahlungsabschnitt drehen kann.

7. IR-Gasanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine bestimmte Gaskomponente innerhalb des optischen Kondensensorsystems dicht eingeschlossen ist und das optische Kondensensorsystem zugleich als Gasfilter dient.

8. IR-Gasanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Fotode-

## Patentansprüche

### 1. IR-Gasanalysator, umfassend



tektor (36) so angeordnet ist, daß ein Teil der von der IR-Quelle (30) emittierten und von der IR-Strahlungs-Unterbrechungseinrichtung (20, 21) zerhackten IR-Strahlung erfaßbar ist.

9. IR-Gasanalysator nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotationszustand der IR-Strahlungs-Unterbrechungseinrichtung (20, 21) unter Nutzung der Zerhackerfrequenz der von dem Fotodetektor erfaßten IR-Strahlung ermittelt wird. 5

10. IR-Gasanalysator nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtmenge von der IR-Quelle (30) anhand des Ausgangssignals des Fotodetektors (36) errechnet wird, um den Zustand von Änderungen in Eigenschaften der IR-Quelle zu ermitteln, während Änderungen von an die IR-Quelle und den IR-Pegeldetektor angelegten Spannungen zur Einstellung der Empfindlichkeit des IR-Pegeldetektors korrigiert werden. 10 15

11. IR-Gasanalysator nach Anspruch 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal des Fotodetektors (36) als Referenzsignal für eine Verarbeitungsschaltung des IR-Pegeldetektors (60) verwendet wird. 20

---

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

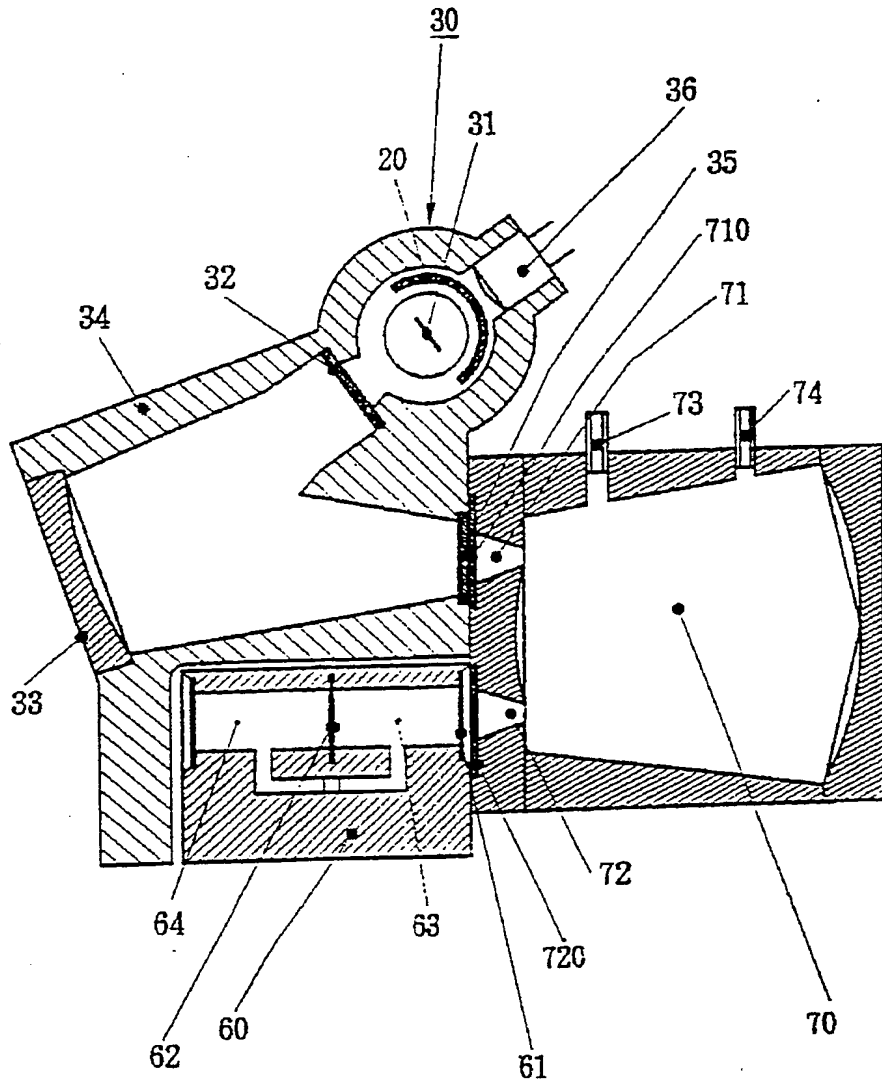


Fig. 2

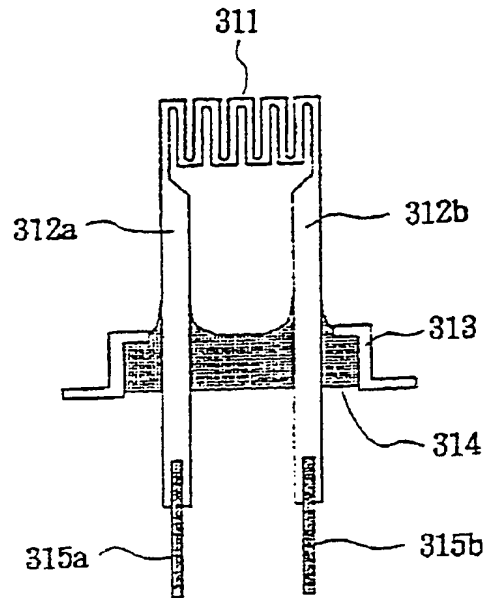


Fig. 3

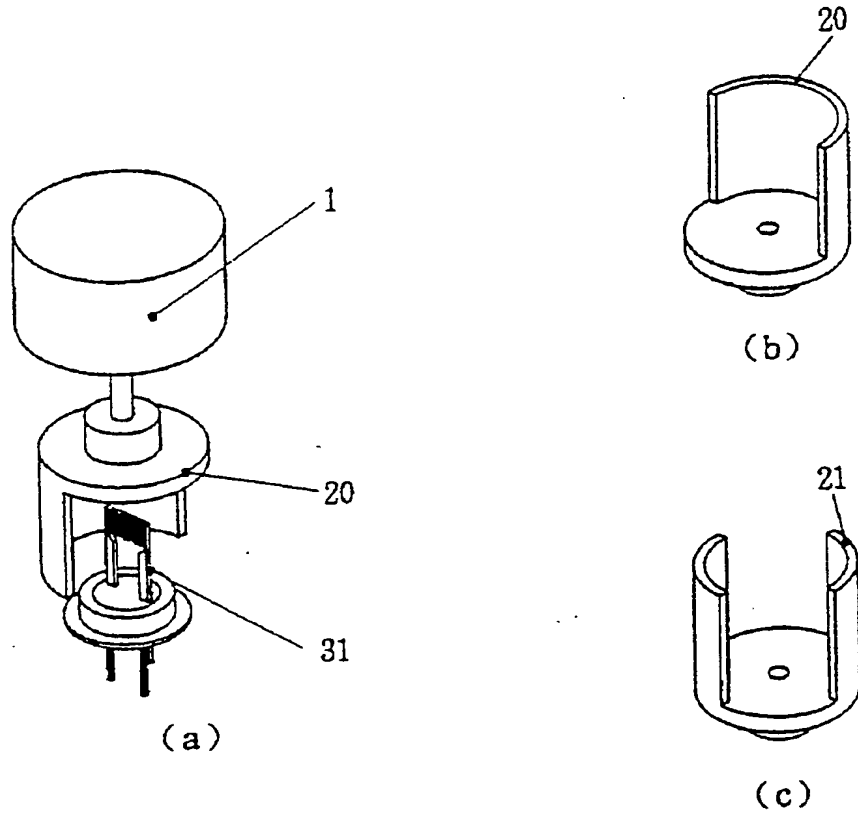


Fig. 4

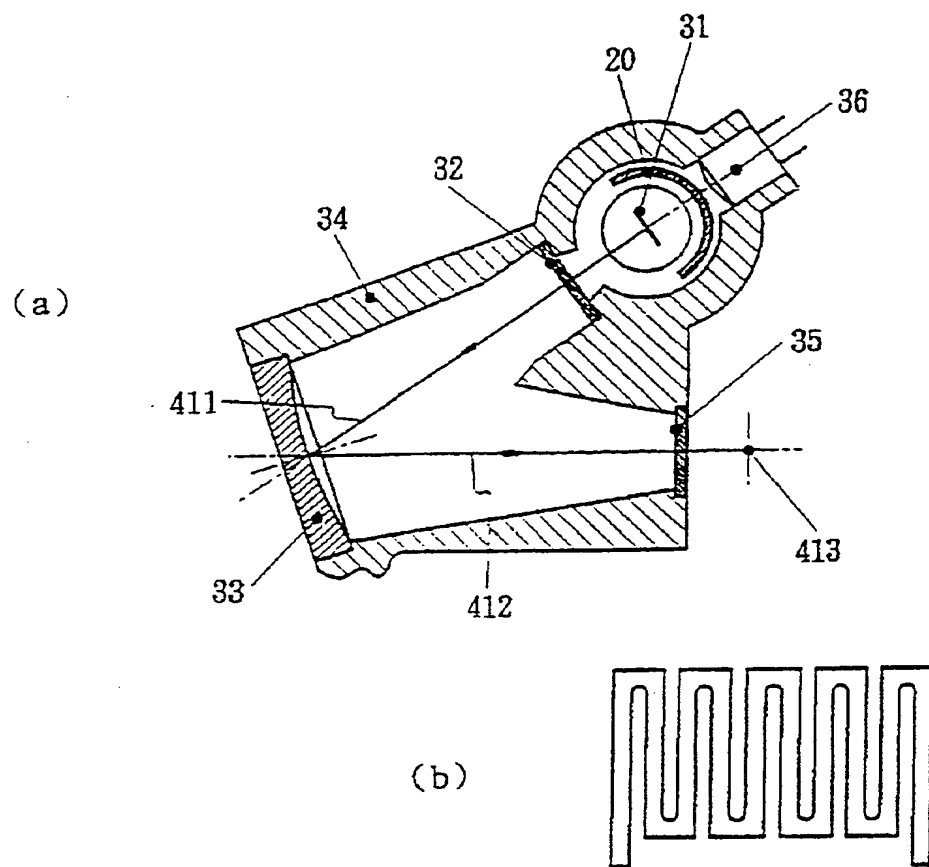


Fig. 5

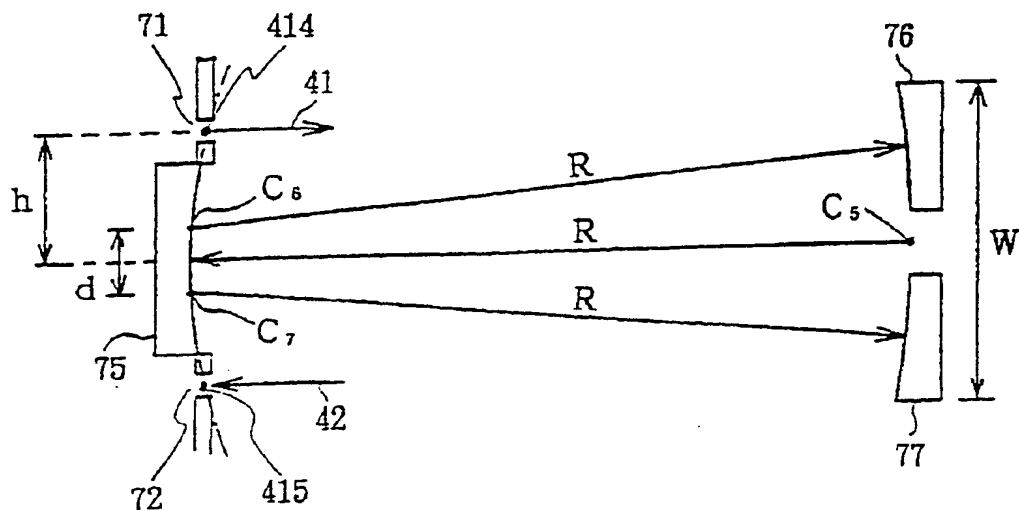


Fig. 6

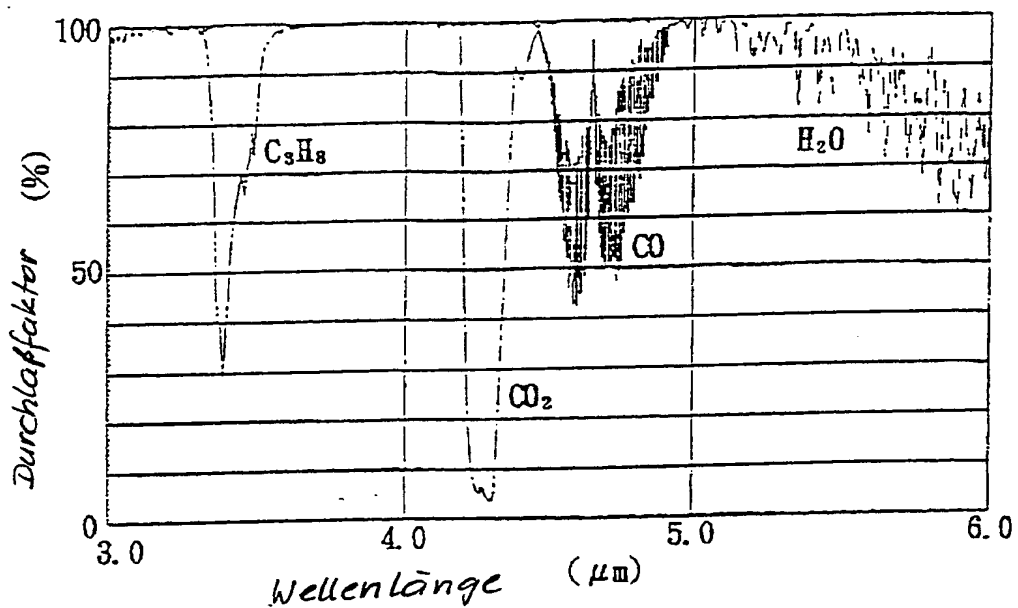


Fig. 7

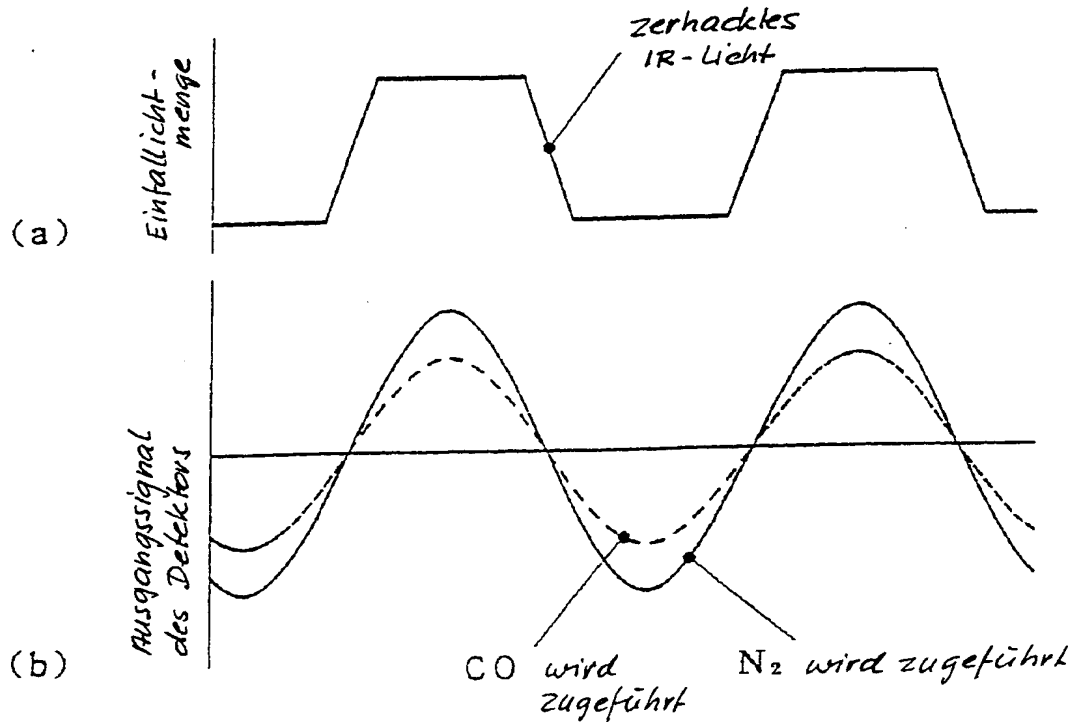


Fig. 8

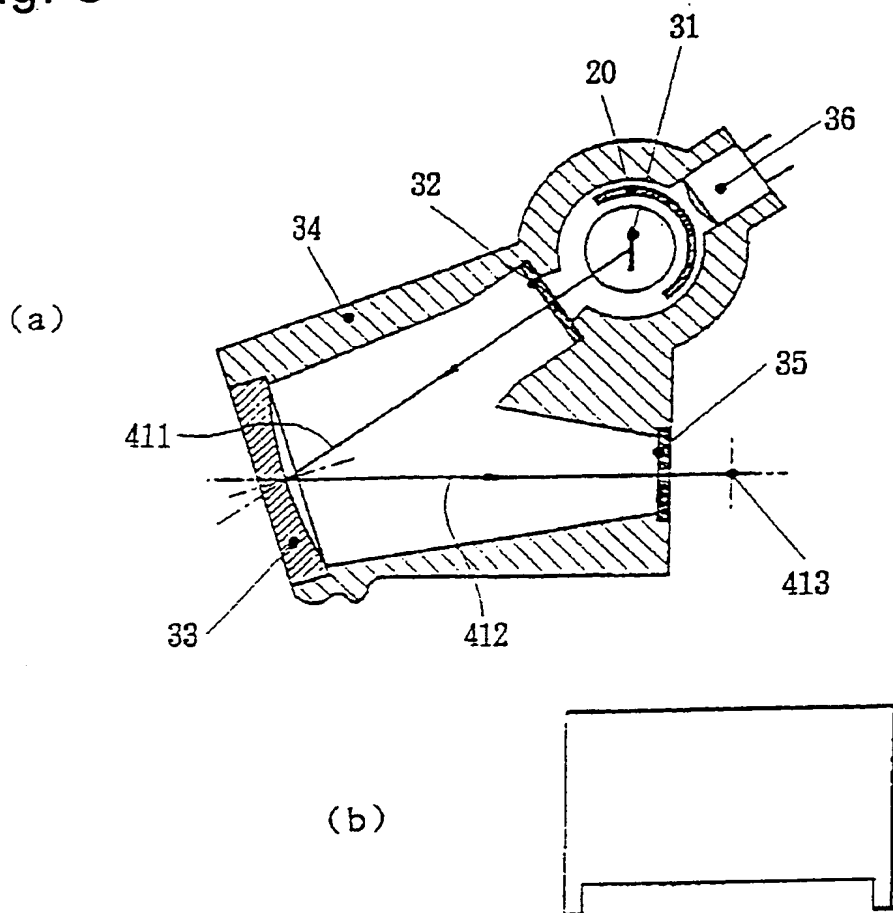


Fig. 9

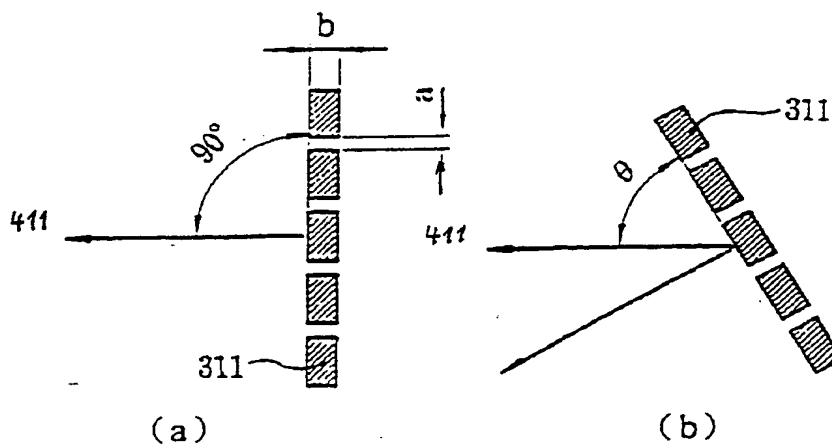




Fig. 10

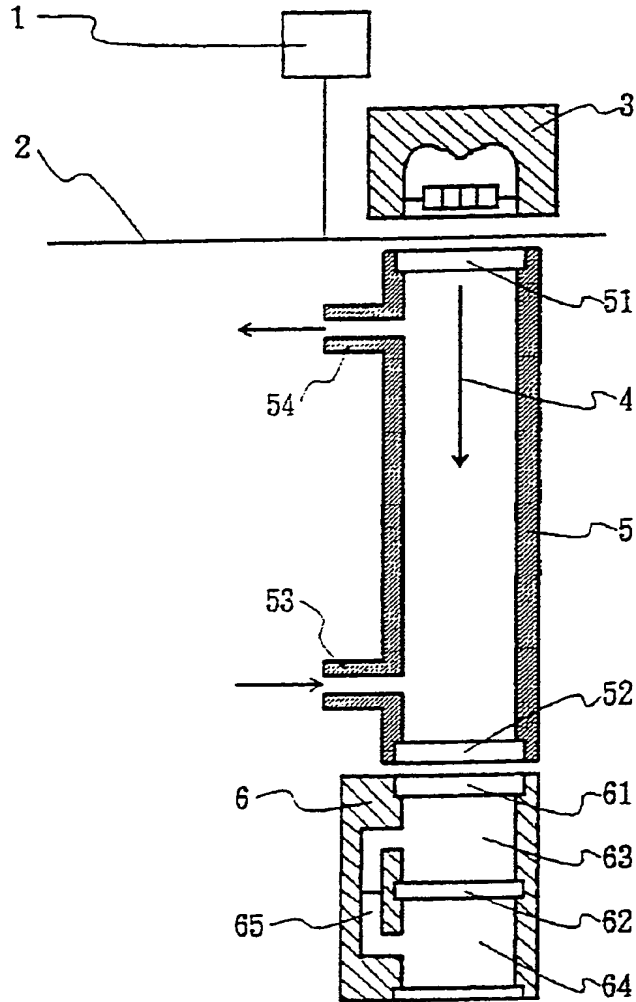


Fig. 11

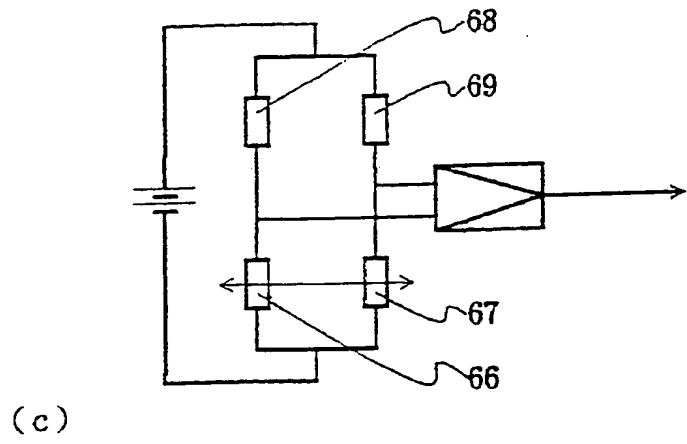
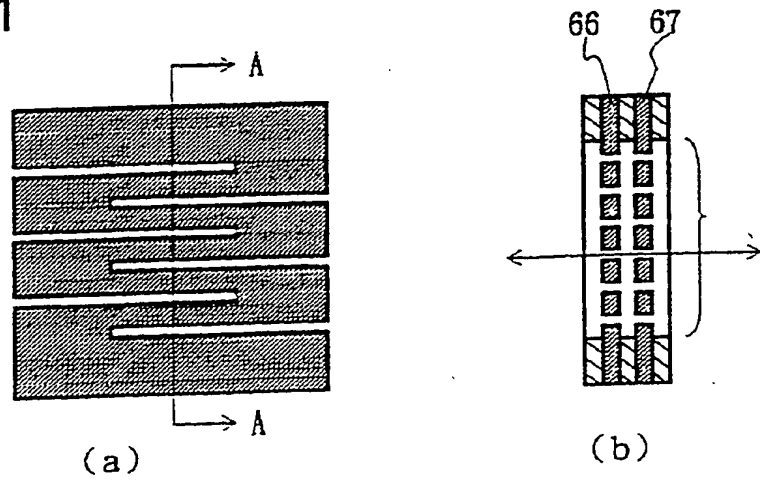


Fig. 12

